

Leichter, fester, duktiler: Moderne Stähle bieten Automobilherstellern viele Vorteile

Martin Holzweissig, Serge Reitz and Andreas Frehn

BENTELER Automobiltechnik GmbH, An der Talle 27-31, 33102 Paderborn, Germany

Autoren:

Dr.-Ing. Martin Holzweissig, Project Leader Materials Development, BENTELER Automotive, Paderborn

Serge Reitz, Coordinating Project Engineer, BENTELER Automotive, Paderborn

Dr. Andreas Frehn, BENTELER Automotive, Paderborn

Dieser Artikel wurde in der STAHL + TECHNIK, Ausgabe 8/2020 veröffentlicht

Vorspann

Im Automobilbau spielt der Stahlleichtbau weiterhin eine wichtige Rolle. So wird im Fahrwerksbereich vermehrt mikrolegierter HSLA-Stahl durch festeren Mehrphasenstahl ersetzt. Der wachsende Trend zu höheren Festigkeiten zeigt sich auch bei Strukturbauteilen. Etwa indem für kaltgeformte Bauteile neuerdings Mehrphasenstähle der dritten Generation eingesetzt werden. Warmgeformte Strukturbauteile werden zunehmend aus Stählen im Festigkeitsbereich von 2000 MPa wie dem BENTELER-Werkstoff BTR2000 gefertigt.

Einleitung

Strengere gesetzliche Bestimmungen, mehr Nachhaltigkeit, geringere Klimaauswirkungen, niedrigere Kosten: Die Anforderungen an die heutige Automobilindustrie treiben die Forschung im Bereich alternativer Werkstoffe voran. Dabei bleibt Stahl das Material der Wahl für Fahrwerks- und Strukturkomponenten im Automobilbau, denn Stahl ist im Vergleich zu Aluminium, Magnesium und faserverstärktem Kunststoff sehr kosteneffizient und weltweit verfügbar. Bei Fahrwerkskomponenten sind kaltgeformte Produkte aus mikrolegierten Stählen Stand der Technik. Bei strukturelevanten Bauteilen werden zumeist Mangan-Bor- und Mehrphasenstähle eingesetzt. Die Mangan-Bor-Stähle werden durch eine Austenitisierungsbehandlung in einem Ofen verarbeitet. Anschließend folgt die Presshärtung in einem meist wassergekühlten Umformwerkzeug. Dieser Prozess führt zu einer vollständig martensitischen Mikrostruktur. Außerdem werden im Strukturbereich immer häufiger kaltgeformte Mehrphasenstähle eingesetzt, wodurch die Bauteile günstiger hergestellt werden können.

In beiden oben beschriebenen Bereichen ist ein Trend zu noch höherfesten Stählen erkennbar. Damit gewinnen Mehrphasenstähle für Fahrwerkskomponenten an Bedeutung. Und für kaltgeformte Strukturbauteile Mehrphasenstähle der dritten Generation. Für warmgeformte Strukturbauteile stehen Mangan-Bor legierte Stähle mit Zugfestigkeitswerten über 1900 MPa im Fokus.

Dieser Artikel gibt einen Überblick über den Trend zu neuen hochfesten Stählen bei BENTELER Automotive, einem weltweit führenden Partner der Automobilindustrie. Zu diesem Zweck werden wir die potenziellen Bereiche untersuchen, in denen neue Stähle für Fahrwerks- sowie Strukturbauteile eingesetzt werden können.

Stähle für Fahrwerkskomponenten

Im Gegensatz zu Strukturkomponenten, die im Body-in-white eingesetzt werden, werden Fahrwerkskomponenten (Abbildung 1) im Allgemeinen aus warmgewalzten Stählen hergestellt. Dies liegt vor allem an den spezifischen Anforderungen an Steifigkeit, NVH und Korrosionsbeständigkeit. Darüber hinaus sind Warmbandmaterialien im Vergleich zu kaltgewalzten Stählen kostengünstiger. Die Korrosionsbeständigkeit von Fahrwerkskomponenten wird durch eine dem Umformprozess nachgeschaltete kathodische Tauchlackierung (KTL) sichergestellt – zum Teil mit zusätzlichen Maßnahmen wie Beizen oder anschließendem Wachsen. In einigen Fällen wird auch bandbeschichteter Stahl verwendet, wobei die Porenbildung während des Schweißens aufgrund der Beschichtung eine Herausforderung darstellt.

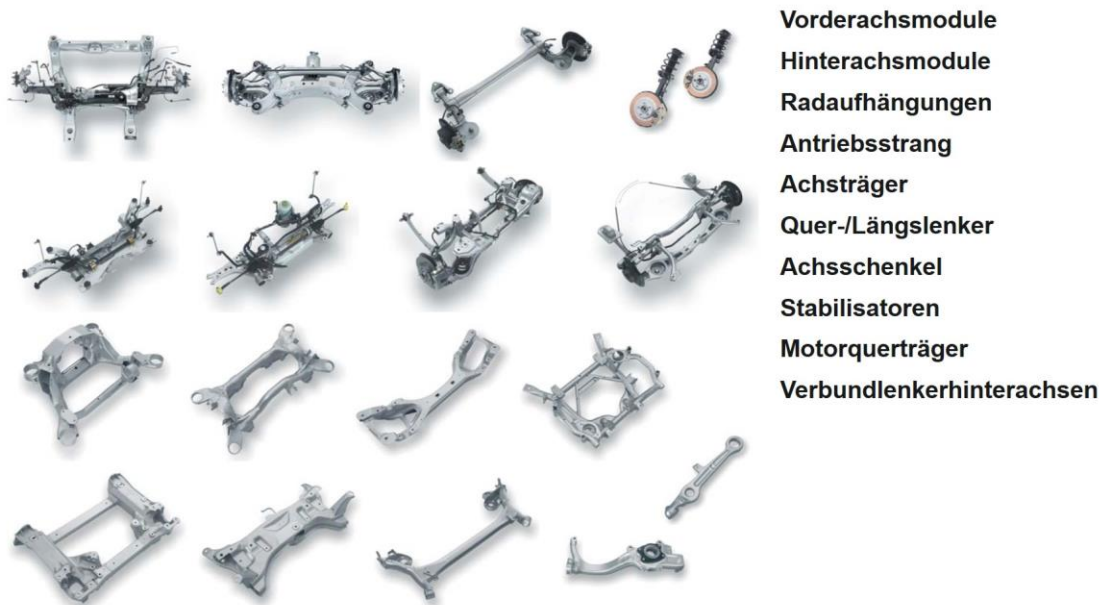


Abbildung 1: Von BENTELER hergestellte Fahrwerkskomponenten und -module.

Die verschiedenen verfügbaren Stähle werden im sogenannten Bananendiagramm (siehe Abbildung 2) beschrieben. Dieses zeigt das Verhältnis von Zugfestigkeit und Dehnung, das in quasi-statischen Zugversuchen ermittelt wurde.

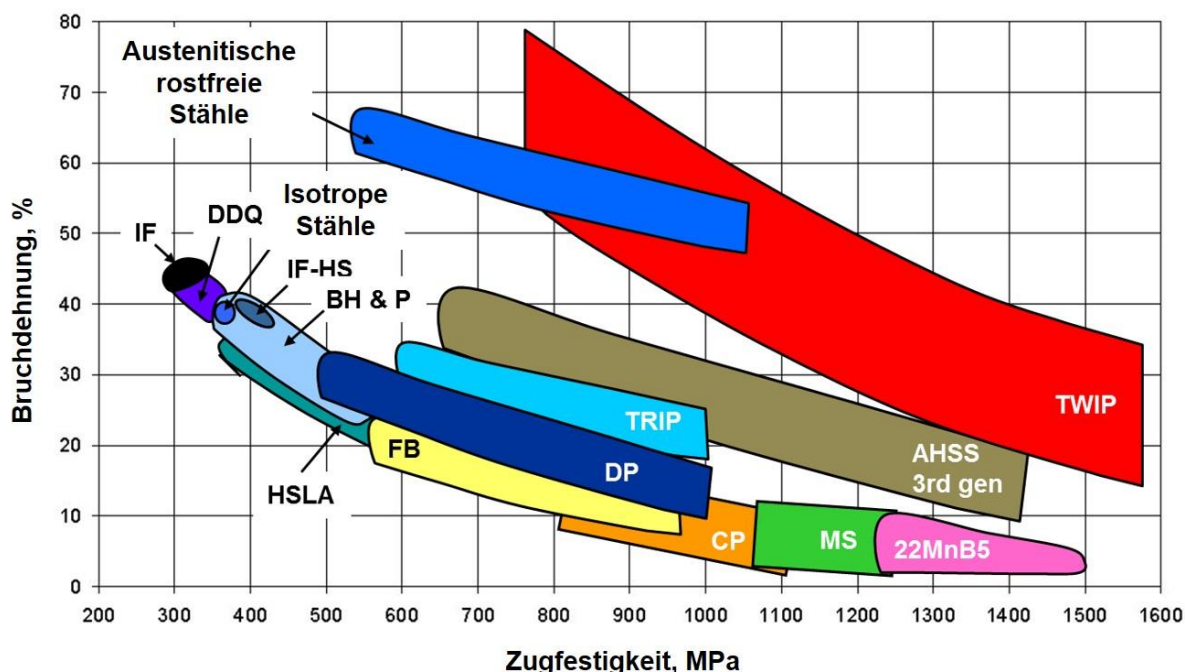


Abbildung 2: Die Eigenschaften verschiedener Stähle hinsichtlich Zugfestigkeit und Dehnung.

Bisher wurden Fahrwerkskomponenten hauptsächlich aus unlegierten Stählen oder C-Mn-Stählen mit Zugfestigkeitswerten unter 400 MPa gefertigt. Das Ergebnis waren zu schweren Bauteile mit hohen Wanddicken. Seit einigen Jahren gewinnen allerdings Stähle mit Festigkeitswerten über 600 MPa an Bedeutung. Denn damit lassen sich leichtere Bauteile mit reduzierten Wanddicken herstellen. Derzeit sind im Fahrwerksbereich folgende Stahlsorten zu finden:

* Mikrolegierte, hochfeste (HSLA) Stähle

Diese Stähle sind die am häufigsten verwendete Stahlgruppe bei den Fahrwerkskomponenten. Sie sind über einen weiten Festigkeitsbereich verfügbar und werden durch eine thermomechanische

Behandlung beim Warmwalzen hergestellt. Und zwar in Kombination mit einem speziellen Legierungskonzept, bei dem Mikrolegierungselemente (Nb, Ti, V) verwendet werden. In der VDA-Spezifikation VDA239 sind beispielsweise Stähle in einem Streckgrenzenbereich von 300 MPa bis 700 MPa genormt. Dagegen spezifiziert die DIN-Norm EN 10149-2 diese Stähle sogar bis zu einem Festigkeitsniveau von 960 MPa. In Fahrwerkskomponenten werden diese Stähle hauptsächlich in einem Streckgrenzenbereich zwischen 300 und 500 MPa eingesetzt. Für Bauteile mit höheren Festigkeitsanforderungen sind Streckgrenzenwerte bis zu 700 MPa üblich. Ein großer Vorteil dieser Stähle ist das günstige Verhältnis zwischen Festigkeit und Umformbarkeit, das für viele Bauteile ausreichend ist. Zudem sind sie in fast allen Regionen weltweit verfügbar. Entweder nach den europäischen oder vergleichbaren regionalen Normen. Damit unterscheiden sie sich nur geringfügig in der Qualität. Wenn engere Wanddickentoleranzen gefragt sind (z. B. für Torsionsprofile in Hinterachsen), können diese Stahlsorten auch aus Dünnbrammengieß- oder Mittelbandwerken bezogen werden.

Aktuell ergeben sich für diese Stähle Entwicklungen in zwei Richtungen. Zum einen werden diese Stähle hinsichtlich ihrer Schneidbarkeit optimiert, z. B. durch die Reduzierung der P- und S-Gehalte sowie durch die Minimierung von Härteschwankungen im Gefüge. Durch diese Maßnahmen wird eine glattere Schnittkante im konventionellen (einstufigen) Scherschneiden erreicht. Die reduzierte Anzahl an Rissen im Schnittkantenbereich während der anschließenden Umformung führt außerdem zu einer höheren Lebensdauer im Bauteilversuch. Zum anderen werden Werkstoffkonzepte entwickelt, die auf einer noch feineren rein ferritischen Kornstruktur basieren, um die Schneidbarkeit und das Lochaufweitungsverhalten zu verbessern. Letzteres ist häufig ein Schwachpunkt der konventionellen HSLA-Stähle. Leider werden diese Entwicklungen in den bestehenden Normen noch nicht berücksichtigt. Daher stellen sie nur lokale Lösungen einzelner Stahlhersteller dar.

* *Mehrphasenstähle*

Mehrphasenstähle werden schon seit mehreren Jahren für Fahrwerkskomponenten verwendet. Insbesondere ferritisch-bainitische Stähle (FB), Dualphasenstähle (DP) und Komplexphasenstähle (CP). TRIP (Transformations-Induced-Plasticity)-Stähle sind hingegen aufgrund ihrer komplexen Wärmebehandlung auf konventionellen Warmwalzwerken nur sehr schwer herstellbar und daher wenig am Markt zu finden.

FB-Stähle sind derzeit die relevantesten Mehrphasenstähle für Fahrgestellkomponenten. Sie haben ein ähnliches Legierungskonzept wie mikrolegierte HSLA-Stähle. Beide werden durch eine kontrollierte Abkühlung während des Warmwalzprozesses in das Zweiphasengefüge überführt. In den entsprechenden Normen sind solche Werkstoffe mit Zugfestigkeitsstufen von 450, 600 und 780 MPa aufgeführt, wobei es auch einzelne Entwicklungen im Bereich von 980 MPa gibt. Der große Vorteil dieser Stähle ist die bessere Schneidbarkeit. Außerdem haben sie ein höheres Lochaufweitungsverhältnis im Vergleich zu den mikrolegierten HSLA-Sorten. Der Einsatz dieser Stähle hat sich besonders bei Querlenkern bewährt, bei denen häufig Stanzlöcher aufgeweitet und definierte Kragenhöhen erreicht werden müssen. Aber auch in Torsionsprofilen für Hinterachsen oder in Vorderachsträgern werden diese vermehrt eingesetzt.

DP-Stähle bestehen aus den Phasen Ferrit sowie Martensit und spielen im Vergleich zu den FB-Stählen im Fahrwerksbereich nur eine untergeordnete Rolle. Dies liegt einerseits an der niedrigen Streckgrenze der Standardgüte DP600, die auch mit einem preisgünstigeren mikrolegierten HSLA-Stahl gegeben ist. Andererseits wird die starke Verfestigung, die diese Stähle kennzeichnet, bei der Konstruktion oft nicht berücksichtigt. Dadurch werden diese Stähle meist schon früh im Entwicklungsprozess ausgeschlossen. Darüber hinaus ist das Lochaufweitungsverhältnis im Vergleich zu FB-Stählen deutlich reduziert. Für Sonderanwendungen, bei denen das Halbzeug kein Blech, sondern ein geschweißtes Rohr ist, sind diese Stähle hingegen interessant – etwa bei Torsionsprofilen. Der Rohrumformprozess erhöht die Streckgrenze, die bei DP-Stählen verhältnismäßig niedrig ist. Damit bleibt die gute Verformbarkeit nahezu erhalten.

Im Gegensatz zu den FB- und DP-Stählen bestehen die Komplexphasenstähle, die ursprünglich für Strukturanwendungen entwickelt wurden, aus drei Phasen (Ferrit, Bainit, Martensit). Sie vereinen eine hohe Streckgrenze mit einer fast gleich hohen Zugfestigkeit. Derzeit werden sie hauptsächlich für Bauteile eingesetzt, die entweder eine hohe Knickfestigkeit aufweisen müssen, wie z. B. Querlenker. Oder aber sie haben eine Funktion im Crash-Lastfall, wie z. B. Querstreben. Diese Stähle sind im

Festigkeitsbereich von 780 bis 980 MPa verfügbar und werden bereits in der Serienfertigung verarbeitet. Allerdings stellen CP-Stähle im Festigkeitsbereich von 980 MPa hohe Anforderungen an die Pressen, die Umform- und Schneidwerkzeuge. Insbesondere bei höheren Dicken. Zudem sind sie bei einer Umformung empfindlich hinsichtlich Rissbildung an den Schnittkanten. Aus diesem Grund modifizieren einzelne Stahlhersteller das typische Mehrphasenkonzept hin zu einem beinahe einphasigen bainitischen Konzept. So verbessern sie das Lochaufweitungsverhalten deutlich und behalten gleichzeitig die anderen relevanten mechanischen Eigenschaften bei. Infolgedessen gibt es auf dem Markt unterschiedliche Legierungs- und Gefügekonzepte für diese Güten. In globalen Projekten können solche Stähle daher nur dann direkt ausgetauscht werden, wenn sie zuvor einen Freigabeprozess einschließlich Bauteilversuche durchlaufen haben.

Kaltformstähle für Strukturkomponenten

Dank moderner hochfester Stähle (AHSS) der dritten Generation können leichte Strukturkomponenten durch Kaltumformung hergestellt werden. Diese kaltformbaren Stähle sind in einem breiten Spektrum von Festigkeitsstufen bis hin zur Festigkeit typischer Warmumformstahlsorten erhältlich. Ein Vorteil gegenüber warmgeformten Stählen ist die Verfügbarkeit verzinkter Güten, die korrosionsbeständiger sind. Im Vergleich zu konventionellen AHSS der ersten Generation lässt sich mit AHSS der dritten Generation aufgrund ihrer besseren Bruchdehnungswerte Gewicht reduzieren – bei gleichen Festigkeitsniveaus. Dies wird vor allem durch optimierte Legierungs- und Herstellungskonzepte erreicht. Diese zielen auf eine Stabilisierung von Restaustenit im Gefüge ab, sodass die Gefüge aus Bainit, angelassenem Martensit, Restaustenit und Ferrit bestehen. Die Einstellung der mechanischen Eigenschaften erfolgt über die jeweiligen Phasenanteile. So führt etwa ein erhöhter Anteil an Restaustenit in der Mikrostruktur zu einer erhöhten Duktilität.

Im Allgemeinen haben AHSS der dritten Generation das Potential, AHSS der ersten Generation für Strukturkomponenten zu ersetzen, da erstere eine höhere Restduktilität nach der Kaltumformung haben. Zusätzlich kann aufgrund der höheren Duktilität eine höhere Anzahl von Versteifungselementen in die Geometrie der Rohbauteile integriert werden. Dünnere und damit leichtere Bauteile sind das Ergebnis.

Tabelle 1: Mechanische Eigenschaften der untersuchten Kaltformstähle für Strukturanwendungen, nach Herstellerangabe.

Material	Typ	min. Rp _{0,2} [MPa]	max. Rp _{0,2} [MPa]	min. Rm [MPa]	max. Rm [MPa]	min. A80 [%]	min. A50 ASTM [%]	min. A50 JIS [%]
1	1050-DH	700	820	1050	1180	14	14	15
2	1180-DH	850	1060	1180	1330	13	13	14
3	980-CH	605	845	980	1085	-	19	-
4	950-TWIP	450	600	950	-	45	-	-
5	980-TRIP	600	750	980	-	-	-	25
6	1180-TRIP	850	-	1180	-	-	-	14
7	980-TRIP	600	750	980	1100	-	-	21
8	1180-TRIP	850	1100	1180	1300	-	-	14

9	1470-DP	-	1400	1470	-	-	-	5
10	1180-DH	850	1050	1180	1350	13	-	-
11	980-DH	700	850	980	1180	13	14	14
12	980-CH	780	950	980	1140	10	-	-
13	1180-CH	900	1150	1180	1350	7	-	-
14	980-DP	590	740	980	1130	10	11	11

Diese Kaltformgüten bieten ein hohes Potenzial, es fehlt jedoch ein Vergleich in der Literatur. Wir haben daher 13 unbeschichtete kaltformbare AHSS der dritten Generation auf ihre Eignung für Strukturbauteile untersucht. Eine Liste der getesteten Stähle ist in Tabelle 1 aufgeführt. Alle wiesen eine Dicke von $t = 1,4$ mm auf. Die erzielten Ergebnisse wurden mit dem Referenzwerkstoff CR590Y980T-DP (Nr.14) verglichen.

Im ersten Schritt haben wir die Materialien hinsichtlich Mikrostruktur, mechanischer Eigenschaften und Fließverhalten untersucht. Auf Basis der letztgenannten Ergebnisse und der vom Stahlhersteller gelieferten Materialkarten haben wir anschließend Kaltumformsimulationen mit *Autoform* durchgeführt. Darüber hinaus haben wir Umformversuche an einer B-Säulen-Geometrie gemacht. Für die Umformversuche wurde ein Transferwerkzeug mit vier Umformstufen bei einer eingestellten Gesamt-Umformkraft von 1600 Tonnen verwendet. Dabei wurden aus jedem Material etwa zehn B-Säulen hergestellt. Das Material stammte jeweils von einem Coil.

Zusätzlich zu den Umformsimulationen und Experimenten haben wir FEM-Crashsimulationen in Form eines Fallturmtests durchgeführt. Dafür wurde ein Schließblech aus CR330Y590T-DP-UC-U in 1,00 mm auf der B-Säule befestigt.

Bei den Umformversuchen zeigte nur ein Material, nämlich der 1470-DP, ein Versagen während der Umformung. Dies war durch die Simulationen bereits vorhersehbar. Jedoch konnte bei einigen Werkstoffen gegenüber dem Referenzwerkstoff merklich Gewicht reduziert werden. Mit dem 1180-DH etwa waren dies 8 %. Die Crash-Performance blieb dabei stets gleich.

Zusätzlich wurde nach der Umformung die Streuung der Rückfederung an allen hergestellten Bauteilen für alle untersuchten Stähle an jeweils 27 Punkten mit GOM ATOS III Triple Scan im nicht verspannten Zustand gemessen. Darüber hinaus wurden die Scan-Ergebnisse mit den Ergebnissen der Rückfederungssimulation an denselben Punkten verglichen. Die zugelassenen Toleranzabweichungen betragen $\pm 0,50$ mm. Wir konnten aufzeigen, dass es bei den meisten der untersuchten Werkstoffe teils erhebliche Abweichungen der Messpunkte zu den zulässigen Toleranzen gab. Zudem nahmen die Abweichungen mit steigender Festigkeit der Werkstoffe zu (siehe Abbildung 3).

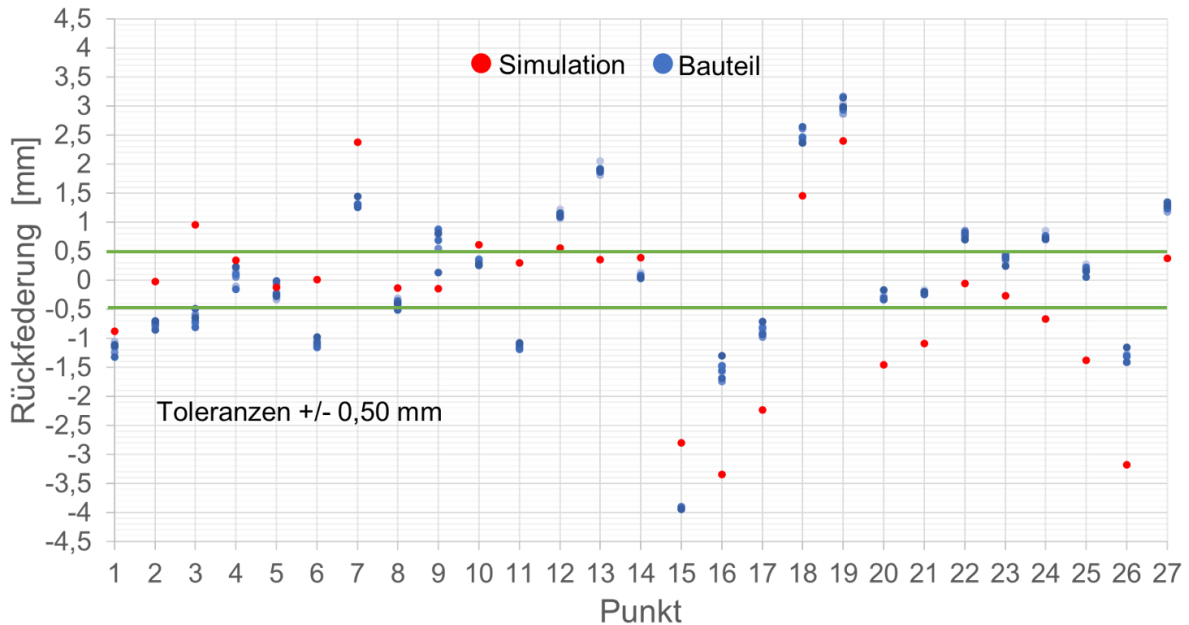


Abbildung 3: Vergleich der Rückfederungsergebnisse am Beispiel eines 1180-DH an neun Bauteilen. Ermittelt durch BENTELER.

Die bekannten Vorhersageschwierigkeiten für die Rückfederung werden oft auf kinematische Verfestigungseffekte zurückgeführt. Diese werden in den isotropen Verfestigungsmodellen nicht berücksichtigt, die meist in den Materialkarten der Stahllieferanten verwendet werden. Wenn kinematische Verfestigungsmodelle wie das Yoshida-Uemori-Modell zugrunde gelegt werden, lassen sich bessere Ergebnisse erzielen.

Derzeit ist eine Koexistenz von günstigeren AHSS der ersten Generation und teureren AHSS der dritten Generation erkennbar. Viele Stahllieferanten geben zudem an, dass dies auch in der Zukunft so bleiben wird. Obwohl einige OEMs in einigen Anwendungen bereits neue Stähle einsetzen, bleibt es abzuwarten, ob sich die neuen Stähle der dritten Generation auf dem Markt durchsetzen.

Warmformbare Stähle für Strukturkomponenten

Auch bei Warmformstählen steigt die Nachfrage nach höheren Festigkeiten seitens der OEM. Ziel ist es, die Bauteilgewichte von Strukturkomponenten durch die Reduzierung der Wanddicke zu verringern. Aus diesem Grund haben die Metall-Prozess-Spezialisten von BENTELER den BTR2000 entwickelt, einen Warmformstahl mit Zugfestigkeiten im Bereich von 2000 MPa. Er bietet eine ca. 25 % höhere Zugfestigkeit gegenüber konventionellen Warmformstählen und damit ein hohes Potenzial für den Leichtbau.

Im Folgenden wird der BTR2000 mit der Standardwarmformgüte 22MnB5 verglichen und bewertet. Die mechanischen Eigenschaften von 22MnB5 und BTR2000 wurden in Zug- und Biegeversuchen ermittelt. Und zwar sowohl im pressharten als auch im pressharten und KTL-beschichteten Zustand. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Der BTR2000 weist in beiden Zuständen höhere Werte hinsichtlich Streckgrenze und Zugfestigkeit als der 22MnB5 auf. Darüber hinaus führt die Wärmebehandlung des Beschichtungsprozesses zu einem Anstieg der Streckgrenze und einer gleichzeitigen Abnahme der Zugfestigkeit. Obwohl die Festigkeitswerte des BTR2000 deutlich höher sind als die des 22MnB5, ist die Duktilität, die durch Bruchdehnung (A_{30}) und den Biegewinkel (α / α_{1mm}) gegeben ist, unverändert gegenüber dem 22MnB5. Die vergleichsweise unveränderte Duktilität und der hohe Festigkeitszuwachs (ca. 25 %) sind auf die feineren Mikrostrukturen im BTR2000 zurückzuführen, die bei der Legierung mit Niob entstehen. Es ist bekannt, dass feinere Mikrostrukturen zu gleichzeitig höheren Festigkeits- und Duktilitätswerten führen. Niob, das sich mit Kohlenstoff zu Niobkarbiden verbindet, schränkt das Austenit-Kornwachstum während des Austenitisierungsprozesses ein. Damit sorgt es für eine höhere Keimstellendichte, die schließlich nach dem Presshärten zu feineren martensitischen Gefügen führt. Als wesentliche Folge der eingestellten feineren Strukturen werden die Streckgrenze sowie Zugfestigkeit, Härte und Biegekräfte entsprechend der Hall-Petch-Beziehung

erhöht. Gleichzeitig weisen die feinen Mikrostrukturen eine gute Duktilität auf, die durch die Bruchdehnung und die Biegewinkel repräsentiert wird.

Tabelle 2: Mechanische Eigenschaften des 22MnB5 und BTR2000 nach einer Austenitisierung und anschließendem Presshärten sowie teilweiser KTL-Beschichtung. Ermittelt bei BENTELER.

	22MnB5 t = 1,8 mm Presshart	22MnB5 t = 1,8 mm Presshart + KTL	BTR2000 t = 1,8 mm Presshart	BTR2000 t = 1,8 mm Presshart + KTL
R _{p0,2} [MPa]	1020	1140	≈ + 25 %	≈ + 30 %
R _m [MPa]	1600	1520	≈ + 25 %	≈ + 20 %
A ₃₀ [%]	8.7	9.0	≈ ± 0 %	≈ ± 0 %
α [°]	51	52	≈ ± 0 %	≈ ± 0 %
α _{1mm} [°]	68	70	≈ ± 0 %	≈ ± 0 %

Aufgrund seines hohen Festigkeits- und Duktilitätsniveaus ist der BTR2000 gut für die Herstellung von energieabsorbierenden Komponenten geeignet. Deshalb wurden aus ihm Querträger für Stoßfängersysteme hergestellt. Als Referenz wurden zusätzlich Querträger aus dem 22MnB5 hergestellt. Beide Stoßfängersysteme wurden nicht mit einem Schließblech versehen, um eine hohe Verformung während des Crashtests zu erreichen. Ein besonders kritischer Lastfall ist der Pfahlaufpralltest, weil bei diesem eine hohe Verformung bei gleichzeitig hohen Zug- und Biegebelastungen auftritt. Aus diesem Grund wurde er für diese Untersuchung ausgewählt.

Aufgrund der besonders kritischen Prüfbedingungen erwarteten wir ein frühes Versagen der Komponenten. Beide in dieser Studie betrachteten Materialien bestanden den Pfahlaufpralltest jedoch und zeigten keinerlei Risse. Daraus lässt sich ableiten, dass beide untersuchten Werkstoffe eine ausreichende Duktilität für eine hohe Energieabsorption des Stoßfängersystems bieten.

Die Kraft-Weg- und die Energie-Weg-Kurven der Pfahlaufprall-Versuche sind in Abbildung 4 dargestellt. In den Kraft-Weg-Kurven ist eine höhere Kraftaufnahme des BTR2000 im Vergleich zu 22MnB5 zu sehen. Im Detail wurde für den BTR2000 eine um 15 % höhere Kraftaufnahme gemessen als beim 22MnB5. Die maximale Kraftaufnahme wurde für beide Materialien bei einem gleichen Verschiebungsweg gemessen – kurz bevor die Biegung des Querträgers einsetzt. Die höhere Kraftereinleitung kann auf die höhere Streckgrenze und Zugfestigkeit des BTR2000 im Vergleich zum 22MnB5 zurückgeführt werden. Dadurch kam es zu einer verzögerten Verformung der Querträgers aus BTR2000. Die erhöhte Kraftereinleitung von nur 15 % im Vergleich zu den um 25 % höheren Festigkeitseigenschaften war dagegen auf die auftretende gemischte Zug- und Biegebelastung sowie auf geometrische Faktoren zurückzuführen, die in den Pfahlaufpralltest einfließen.

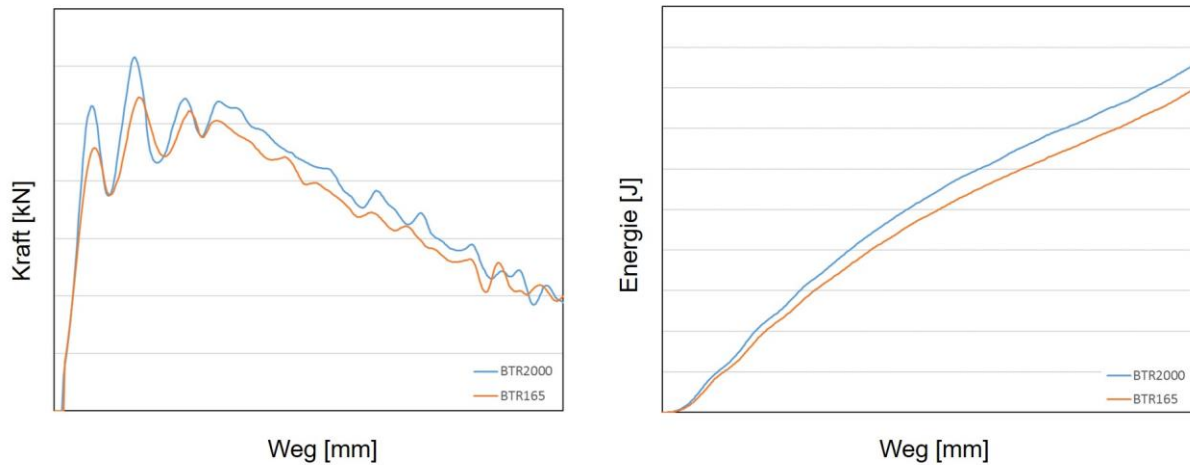


Abbildung 4: Kraft-Weg (links) und Energie-Weg (rechts): Verläufe im Pfahlaufpralltest an Stoßfängern mit Querträgern aus 22MnB5 und BTR2000. Ermittelt bei BENTELER.

Das Energie-Verformungsverhalten ist beim BTR2000 um ca. 8 % höher als beim 22MnB5. Die höhere Energieaufnahme des BTR2000 ist durch das konstant höhere Kraftniveau bedingt (siehe Abbildung 4). Zusätzlich zu den höheren Kräften hielt der BTR2000 den einwirkenden Kräften im Pfahlaufpralltest stand, was auf eine gute Duktilität des Materials hindeutet.

Die höhere Kraft-Energieaufnahme des BTR2000 gegenüber dem 22MnB5 im Pfahlaufpralltest bedeutet, dass die Bauteildicke warmgeformter Teile reduziert und gleichzeitig die Crash-Performance erhalten werden können. Im Falle des oben beschriebenen warmgeformten Querträgers ergaben Simulationen von Pfahlaufpralltests und Crashtests mit Stoßfängern eine mögliche Blechdickenreduzierung von $t=1,8$ mm (22MnB5) auf $t=1,6$ mm (BTR2000) bei gleicher Intrusion.

Schlussfolgerungen

Stetige Fortschritte in der Stahltechnologie spielen im modernen Automobilbau eine wichtige Rolle. Im Fahrwerks- und Strukturbereich können dank höherfesten Stählen die Wanddicken der Bauteile und damit ihr Gewicht reduziert werden. Mehrphasenstähle ersetzen mikrolegierte Stähle im Bereich der Fahrwerkskomponenten. Seit neustem werden jedoch zunehmend Mehrphasenstähle der dritten Generation eingesetzt, da sie eine höhere Festigkeit und eine bessere Verformbarkeit bieten. Für warmgeformte Strukturbauteile werden Mangan-Bor-Stähle eingesetzt. Der BTR2000 von BENTELER nutzt innovative Verarbeitungs- und Legierungskonzepte, um diese Vorteile noch auszuweiten. Durch die deutlich verbesserte Duktilität und die hohe Zugfestigkeit erfüllen Hersteller weiterhin strenge Crash-Anforderungen und entsprechen gleichzeitig den Umweltstandards. Heute und morgen.